

ГЕНЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАРКЕРОВ В БИТУМОИДАХ НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ ПОРОД РИФЕЯ, ВЕНДА И КЕМБРИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

М.В. Дахнова, Т.П. Жеглова, С.В. Можегова

*Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт,
105118, Москва, шоссе Энтузиастов, 36, Россия*

С целью получения необходимой информации для корреляции нефтей с их генерационными источниками изучены особенности распределения биомаркеров в битумоидах разновозрастных нефтематеринских отложений юга Сибирской платформы. Установлено, что битумоиды рифейских, вендских и нижнесреднекембрийских нефтематеринских толщ различаются между собой по ряду показателей, отражающих тип исходного биогенного материала. Основными из таких показателей являются: характер распределения *n*-алканов и ациклических изопреноидов; относительное содержание стеранов и тритерпанов в составе полициклических нафтенев. Выявленные различия состава и распределения биомаркеров в битумоидах разновозрастных нефтематеринских толщ могут быть использованы для идентификации генерационных источников углеводородов открытых залежей.

Нефтегазоматеринские породы, биомаркеры, Сибирская платформа.

GENERATION CHARACTERISTICS OF ORGANIC MATTER AND DISTRIBUTION OF BIOMARKERS IN BITUMENS OF THE RIPHEAN, VENDIAN, AND CAMBRIAN SOURCE ROCKS OF THE SIBERIAN PLATFORM

M.V. Dakhnova, T.P. Zheglova, and S.V. Mozhegova

The distribution of biomarkers in bitumens of source rocks of different ages in the southern Siberian Platform is studied to elucidate the correlation between oils and their sources. It is shown that the bitumens of Riphean, Vendian, and Lower–Middle Cambrian source rocks are different in some parameters reflecting the type of primary biogenic material, first of all, in the distribution of *n*-alkanes and acyclic isoprenoids and in the portions of steranes and triterpanes in polycyclic naphthenes. The revealed difference in the composition and distribution of biomarkers in bitumens of source rocks of different ages can be used to identify the sources of hydrocarbons in dissolved pools.

Source rocks, biomarkers, Siberian Platform

ВВЕДЕНИЕ

Изучение геохимии ОВ разновозрастных нефтематеринских отложений — необходимый элемент работ по созданию моделей генерации и накопления углеводородов в рассматриваемом регионе. При разработке таких моделей одной из основных задач наряду с оценкой генерационного потенциала нефтематеринских толщ является выявление генетической связи между этими толщами и нефтями выявленных залежей. Наиболее надежный метод решения этой задачи заключается в сравнительном анализе состава биомаркеров в нефтях и битумоидах вероятных нефтематеринских пород. Наибольший вклад в изучение этой проблемы внесли работы, проводившиеся в ИГНГ СО РАН под руководством А.Э. Конторовича [Конторович, 2000; Данилова, 2001; Каширцев, 2004; Тимошина, 2004, 2005]. Однако, согласно опубликованным данным, установить надежные связи нефтей с теми или иными материнскими толщами пока не удалось. Это вызвано высоким катагенезом изученных образцов пород из предполагаемых зон нефтегазообразования (Енисей-Байкитского и Байкало-Патомского очагов).

Целью настоящей работы было получение дополнительной информации о роли разновозрастных нефтематеринских толщ как генерационных источников УВ, аккумулярованных в докембрийско-раннепалеозойских отложениях юга Сибирской платформы на основании изучения пород из зон их умеренного катагенеза. Некоторые из этих зон находятся за пределами очагов генерации УВ, которые могли питать выявленные зоны нефтегазоаккумуляции. Однако принципиально этот факт не имеет большого значения при изучении ОВ древних толщ по параметрам, зависящим главным образом от типа исходного биогенного материала, характеризующего относительной однородностью в разновозрастных отложениях. При этом он может изменяться с возрастом отложений в связи с эволюцией биосферы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Изученная коллекция пород среднего рифея состоит из образцов из обнажения на р. Мая (малгинская свита) на восточной окраине Учурской плиты и керна скв. Бурская 341-0 (арымасская свита), пробуренной на Оленекском поднятии. Вендские образцы были отобраны из ряда скважин в краевой части Предпатомского прогиба в Березовской впадине и прилегающих зонах: Дюданская 291-0, Эргеджейская 2360, Верхнечерендейская 2170. Отложения нижнего—среднего кембрия были изучены по образцам из обнажений на реках Молодо, Юдома и Мая. Схема расположения объектов исследования представлена на рис. 1.

Анализ ОВ пород проводился на анализаторе Rock-Eval 6 версии Standard фирмы Vinci Technologies, а изотопного состава углерода битумоидов и их фракций — на изотопном масс-спектрометре VG Optima фирмы Fisons Instruments. Газохроматографический анализ (ГХ) состава *n*-алканов и ациклических изопреноидов насыщенных фракций хлороформенных экстрактов из образцов пород выполнялся на газовом хроматографе 7890А фирмы Agilent Technologies с помощью пламенно-ионизационного детектора (FID) и высокоэффективной кварцевой капиллярной колонки с DB-1. Газохроматографический масс-спектрометрический анализ (ГХ МС) полициклических нафтеннов (биомаркеров) — на квадрупольном хромато-масс-спектрометре Clarus 500 (Perkin Elmer) с использованием капиллярной колонки HP-1701 в режиме SIR характерных ионов. Выделение фракций для ГХ и ГХ МС анализов проводилось экспресс-методом на установке Fisher Scientific PrepTorr.

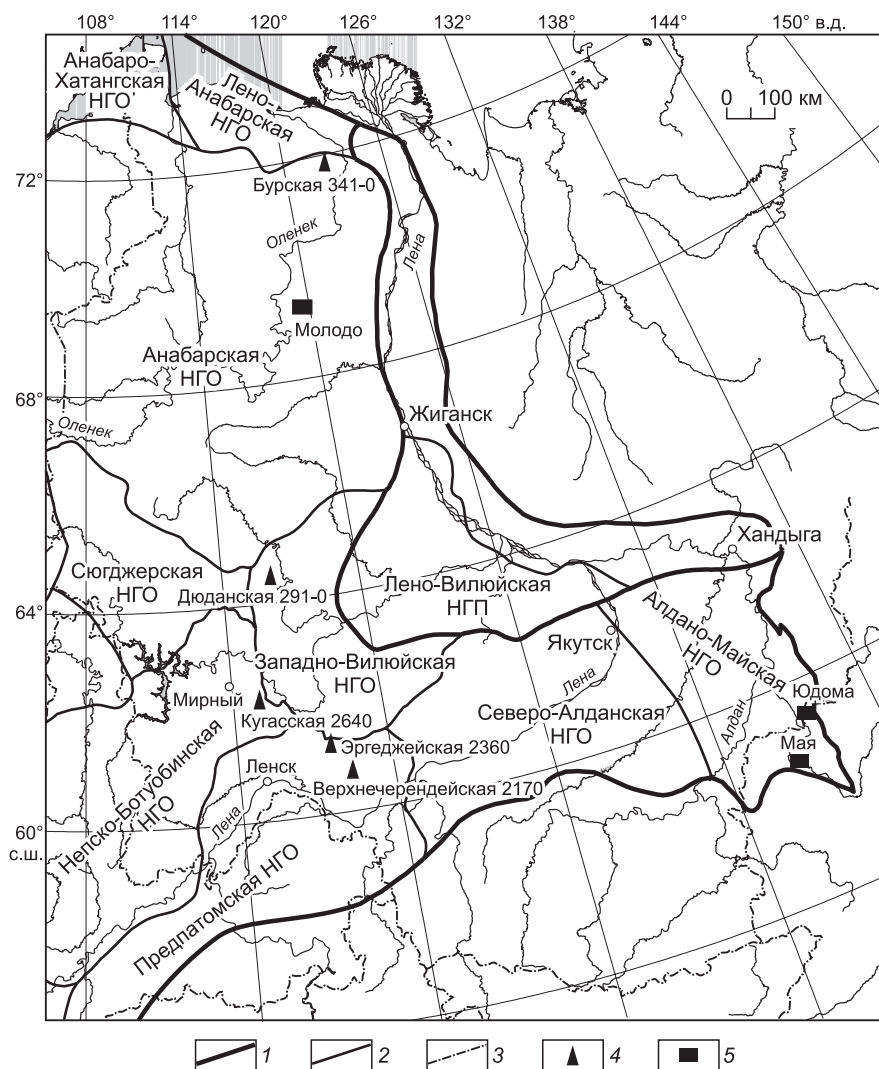


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования.

1—3 — границы: 1 — нефтегазоносных провинций, 2 — нефтегазоносных областей, 3 — административные; 4, 5 — объекты исследований: 4 — скважины, 5 — обнажения.

ГЕНЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ ПОРОД

Результаты анализов керн и пород из обнажений приведены в таблице.

В разрезе рифея на востоке Сибирской платформы наиболее обогащенной ОБ нефтегазоматеринской толщей являются отложения *малгинской свиты среднего рифея*, распространенные на восточной окраине Учурской плиты и в Юдомо-Майском прогибе. Разрез малгинской свиты сложен здесь известняками микрозернистыми, в нижней части — пестроцветными и серыми (до 70—75 м), в верхней — известняками глинистыми темно-коричневыми до черных, с прослоями глинисто-известняковых черных горючих сланцев (20—25 м) [Семихатов, Серебряков, 1983]. Содержание органического углерода ($C_{орг.}$) в глинисто-карбонатных разностях колеблется от 1 до 9 %, в глинистых сланцах достигает 15—17 %. Остаточный генерационный потенциал (S_2) варьирует по разрезу — от 10 до 60 мг УВ/г породы, а в сланцах превышает 100 мг УВ/г породы. Уровень зрелости ОБ по параметру T_{max} Rock-Eval (440—448 °С) и с учетом размерности шкалы катагенеза для домезозоя Сибирской платформы, по Т.К. Баженовой [Неручев и др., 2006], соответствует градации MK_2^1 (по шкале Н.Б. Вассоевича [1975]). Водородный индекс (HI) ОБ меняется по разрезу параллельно содержанию $C_{орг.}$: от 350—500 мг УВ/г $C_{орг.}$ в глинисто-карбонатных породах до 600—640 мг УВ/г $C_{орг.}$ в глинистых сланцах.

Образцы отложений *арымасской свиты среднего рифея* из скв. Бурская 341-0 представлены аргиллитами. Содержание $C_{орг.}$ в них составляет 1.5—2.0 %, S_2 — 5—6 мг УВ/г породы при зрелости ОБ не выше MK_1 (по пиролизу Rock-Eval $T_{max} = 439—440$ °С). HI керогена — 300—400 мг УВ/г $C_{орг.}$.

Изученные образцы пород *венда* из скважин Березовской впадины и прилегающих территорий приурочены к преимущественно терригенным отложениям *сералахской свиты (непский горизонт)* и нижней части *бюкской свиты (тирский горизонт)*.

В верхней части сералахской свиты залегает пачка темно-серых до черных аргиллитов, плотных, местами пиритизированных с небольшими прослоями глинистых доломитов и мелкозернистых алевролитов (скважины Эргеджейская 2360, Верхнечерендейская 2170). Содержание $C_{орг.}$ в них составляет 1—4 %, S_2 — 1—5 мг УВ/г породы. HI в среднем равен 120—140 мг УВ/г $C_{орг.}$ при зрелости керогена MK_3 ($T_{max} = 450—460$ °С).

В разрезе скв. Дюданская 291-0 содержание $C_{орг.}$ в аргиллитах бюкской свиты составляет 1.5—3.5 %, S_2 варьирует в пределах 3—6 мг УВ/г породы, достигая в единичных образцах 20 мг УВ/г породы. HI в среднем равен 300—400 мг УВ/г $C_{орг.}$ при уровне зрелости керогена MK_3 - MK_1 (T_{max} не превышает 435 °С).

Отложения *куонамской и иниканской свит нижнего—среднего кембрия*, изученные по обнажениям на реках Молодо, Юдома и Мая, сложены переслаиванием темноцветных известняков, мергелей, аргиллитов и глинистых сланцев [Семихатов, Серебряков, 1983]. В обнажении на р. Молодо изучены образцы глинистых сланцев куонамской свиты с «доманикитным» содержанием $C_{орг.} = 12—17$ %. Породы характеризуются высоким генерационным потенциалом ($S_2 = 50—100$ мг УВ/г породы) при зрелости керогена не выше MK_1 ($T_{max} = 420—430$ °С). HI керогена в сланцах р. Молодо составляет 500—600 мг УВ/г $C_{орг.}$.

Содержание $C_{орг.}$ в породах иниканской свиты из обнажений на реках Юдома и Мая в карбонатно-глинистых разностях варьирует от 1 до 5 %, в сланцах достигает 13 %. Остаточный генерационный потенциал (S_2) в карбонатно-глинистых породах меняется от 3 до 15 мг УВ/г породы при катагенезе ОБ MK_3 ($T_{max} = 450—460$ °С). В глинистых сланцах из этих обнажений S_2 увеличивается до 50 мг УВ/г породы. HI керогена отложений иниканской свиты в этом крайнем юго-восточном районе изучаемой территории, где зрелость ОБ выше, чем на восточном склоне Анабарской антеклизы (р. Молодо), колеблется в пределах 200—300 мг УВ/г $C_{орг.}$.

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОМАРКЕРОВ В БИТУМОИДАХ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ ПОРОД

Для изучения геохимических характеристик битумоидов использовано более 50 образцов нефтематеринских пород рифея, венда и кембрия, характеризующихся умеренным катагенезом ОБ (не выше MK_3 , по шкале Н.Б. Вассоевича [1975]).

Изотопный состав битумоидов *арымасской свиты среднего рифея* скв. Бурская 341-0 ($\delta^{13}C$) варьирует в интервале от -28.1 до -25.2 ‰.

Битумоиды арымасской свиты характеризуются похожими одномодальными распределениями *n*-алканов с максимумами на *n*- C_{17} и/или *n*- C_{19} (рис. 2). Образцы обеднены ациклическими изопреноидами. Параметры, отражающие их содержание относительно *n*-алканов, — $(\text{пристан}/n-C_{17})$, $(\text{фитан}/n-C_{18})$, $(\text{пристан} + \text{фитан})/(n-C_{17} + n-C_{18})$ (K_i), $\sum(\text{изо}-C_{16}—\text{изо}-C_{21})/\sum(n-C_{15}—n-C_{19})$ — имеют невысокие значения (< 0.5). В битумоидах отсутствуют в определяемых концентрациях 12-, 13-монометилалканы. Значения отношения Pг/Ph варьируют от 0.9 до 1.6.

Результаты исследований образцов керн и пород из обнажений битуминологическими методами и методом Rock-Eval

№ п/л	№ образца	Площадь	№ скважины	Возраст	Глубина, м	Литология	Содержание, %		Параметры пиролиза					HI, мгУВ/г C _{орг.}	OI, мгCO ₂ /г C _{орг.}
							НОП	ХБА	S ₁ , мгУВ/г породы	S ₂ , мгУВ/г породы	T _{max} , °C	S ₃ CO ₂ , мгCO ₂ /г породы	β _{хар.} , %		
1	102пк	Бурская	341-0	R ₂ ag	2566.40	Аргиллит	83.3	0.024	0.05	6.23	439	0.17	1.52	389	11
2	101п	»	»	»	2566.50	»	93.3	0.061	0.05	5.37	440	0.12	3.74	327	7
3	100пк	»	»	»	2567.30	»	92.8	0.023	0.03	5.98	439	0.10	1.11	295	5
4	99п	»	»	»	2567.50	»	92.8	0.016	0.01	1.15	440	0.09	1.77	125	10
5	Ф1-2-09	р. Мая	—	R ₂ ml	Обнажение	Известняк глинистый	26.7	0.281	0.71	20.42	446	0.39	5.91	430	8
6	Ф1-3-09	»	—	»	»	»	23.8	0.360	1.09	13.62	448	0.31	11.23	424	10
7	Ф1-4-09	»	—	»	»	»	35.6	0.497	1.31	57.84	437	1.16	5.70	664	13
8	Ф1-7-09	»	—	»	»	Доломит	22.5	0.145	0.48	6.23	439	0.52	9.45	407	34
9	Ф1-8-09	»	—	»	»	Алевролит известковый	35.0	0.353	1.28	15.93	445	0.43	7.89	356	10
10	Ф1-9-09	»	—	»	»	»	28.3	0.296	0.70	8.36	445	0.44	10.97	310	16
11	Ф1-10-09	»	—	»	»	Аргиллит	75.0	0.438	3.10	99.29	441	1.38	2.75	624	9
12	Ф1-11-09	»	—	»	»	Сланец глинистый	40.0	0.169	0.57	30.09	438	1.21	2.86	509	20
13	Ф1-12-09	»	—	»	»	Известняк глинистый	32.5	0.561	1.25	20.49	444	0.55	14.17	517	14
14	Ф1-13-09	»	—	»	»	Алевролит глинисто-карбонатный	30.0	0.248	0.81	17.70	441	0.62	7.62	545	19
15	Ф1-14-09	»	—	»	»	Мергель	36.0	0.204	0.96	23.05	443	0.52	4.38	496	11
16	Ф1-15-09	»	—	»	»	Аргиллит карбонатный	76.7	0.511	3.21	110.62	440	2.23	2.96	642	13
17	393л	Дюданская	291-0	V ₂ bk	3409.55	Аргиллит алевролит-тый	90.0	0.064	0.13	5.99	433	0.07	4.32	405	5
18	391л	»	»	»	3410.80	»	83.3	1.28	0.18	3.53	436	0.00	7.03	276	0
19	390л	»	»	»	3410.90	»	86.7	0.60	0.12	1.06	433	0.00	6.67	177	0
20	239к	Эргелжская	2360	V ₂ sg	3996.70	Аргиллит	73.3	2.61	0.83	3.22	444	0.05	9.96	123	2
21	238к	»	»	»	3997.80	»	87.5	2.41	0.72	2.87	444	0.02	10.79	119	1
22	356п	Верхнечернейская	2170	»	3764.80	»	83.3	1.27	0.146	2.16	437	0.26	11.46	170	20
23	355п	»	»	»	3766.00	»	86.7	1.30	0.110	1.49	441	0.15	8.43	115	12
24	341п	»	»	»	3785.05	»	80.0	0.72	0.18	1.00	440	0.07	8.61	139	10
25	7	р. Молодо	—	Є ₁₋₂ kp	Обнажение	Сланец глинистый	87.5	16.10	0.64	52.08	423	2.17	0.25	323	13
26	22	»	—	»	»	»	82.5	17.40	0.89	63.73	426	1.82	0.46	366	10

27	32	»	—	»	»	82.5	11.60	0.160	0.94	48.76	427	0.90	1.38	420	8
28	33	»	—	»	»	87.5	17.40	0.160	1.32	106.50	438	0.66	0.92	612	4
29	26	р. Юдома	—	»	С ₁₋₂ in	93.8	7.15	0.107	1.72	15.06	451	0.27	1.49	211	4
30	28	»	—	»	»	83.8	13.50	0.146	1.56	50.44	448	0.44	1.08	374	3
31	31	»	—	»	»	55.0	4.22	0.064	0.38	7.72	447	0.49	1.52	183	12
32	35	»	—	»	»	52.9	4.46	0.139	0.61	9.11	447	0.71	3.11	204	16
33	Ф14-2-09	»	—	»	»	32.2	0.77	0.126	0.16	0.94	443	0.16	16.39	122	21
34	Ф14-3-09	»	—	»	»	18.0	1.52	0.168	0.58	3.97	441	0.24	11.05	261	16
35	Ф14-4-09	»	—	»	»	32.9	2.11	0.167	0.62	4.73	446	0.35	7.92	224	17
36	Ф14-6-09	»	—	»	»	30.0	2.10	0.294	1.03	5.52	439	0.34	14.00	263	16
37	Ф14-8-09	»	—	»	»	27.5	1.80	0.172	0.59	4.31	440	0.40	9.56	239	22
38	Ф14-11-09	»	—	»	»	27.5	3.25	0.048	0.67	9.22	446	0.22	1.47	284	7
39	Ф14-12-09	»	—	»	»	22.0	2.85	0.074	0.52	5.41	449	0.26	2.60	190	9
40	Ф14-14-09	»	—	»	»	4.0	1.17	0.107	0.33	2.16	455	0.23	9.13	185	20
41	Ф14-17-09	»	—	»	»	90.0	1.86	0.191	0.36	2.52	465	0.07	10.28	229	6
42	Ф14-19-09	»	—	»	»	66.7	3.82	0.211	1.14	8.89	445	0.32	5.52	224	8
43	Ф14-22-09	»	—	»	»	57.8	4.74	0.273	1.45	12.56	445	0.31	5.76	247	6
44	Ф14-23-09	»	—	»	»	41.1	2.44	0.202	0.99	6.88	446	0.29	8.27	256	11
45	Ф15-1-09	р. Мая	—	»	»	40.0	3.59	0.153	0.92	10.81	447	0.32	4.25	294	9
46	Ф15-2-09	»	—	»	»	54.3	2.50	0.160	0.68	5.20	445	0.49	6.38	195	18
47	Ф15-5-09	»	—	»	»	67.5	3.05	0.186	0.71	6.51	448	0.46	6.10	214	15

Примечание. R_{2ag} — арьмасская свита, R_{2ml} — малгинская свита, V_{2bk} — бюкская свита, V_{2st} — сералахская свита, С₁₋₂кп — куонамская свита, С₁₋₂in — иинганская свита, НОП — нерастворимый осадок породы, ХБА — хлороформенный битумоид, S₁ — содержание свободных углеводородов, S₂ — остаточный генерационный потенциал, Н1 и О1 — водородный и кислородный индексы соответственно, β_{хл} — битумоидный коэффициент (β_{хл} = (ХБА/С_{орг}) · 100, %).

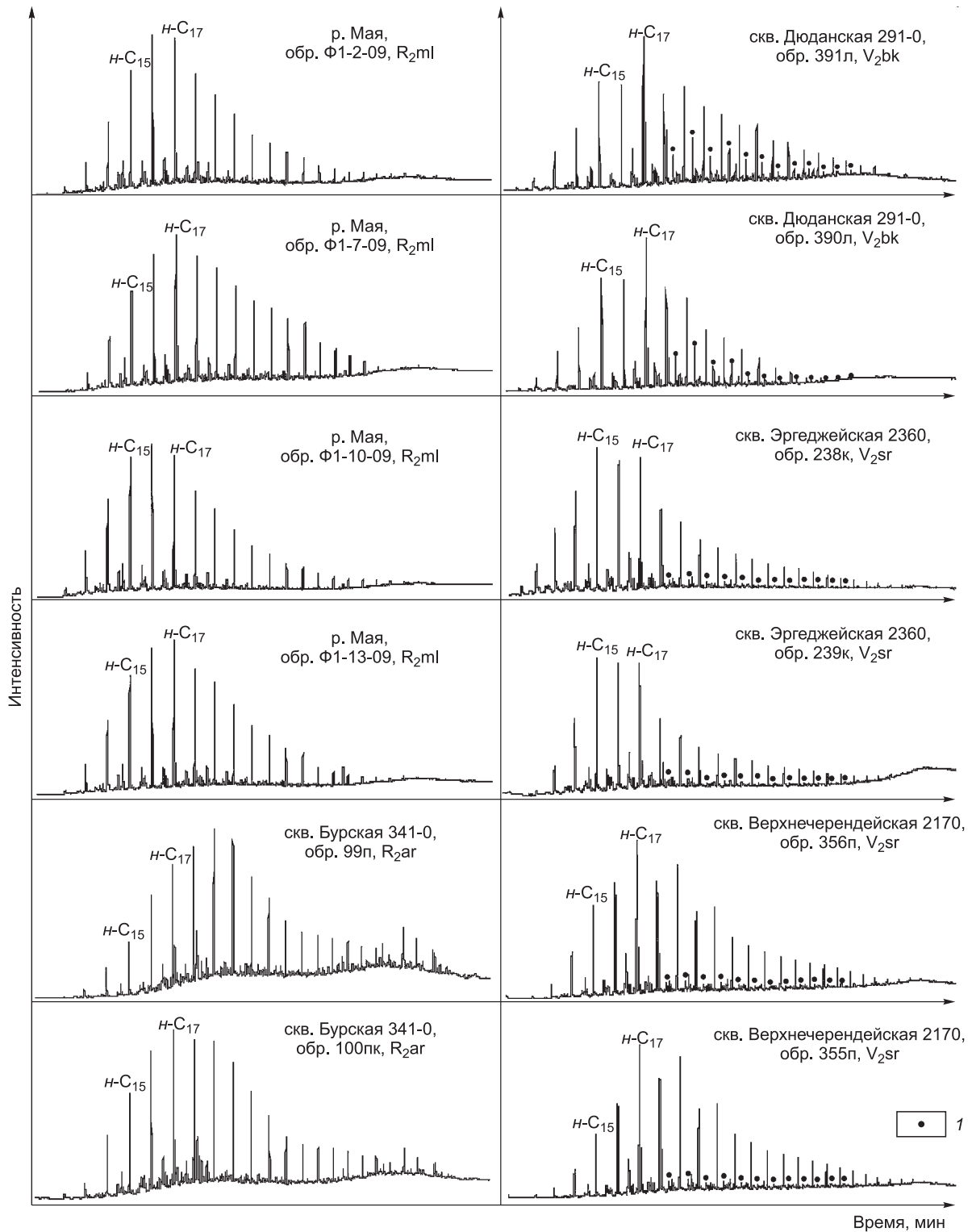


Рис. 2. Типичные хроматограммы насыщенных фракций хлороформенных экстрактов из пород рифейских и вендских отложений Сибирской платформы.

1 — 12-, 13-монометилалканы. Номера скважин и номера образцов соответствуют номерам в таблице.

Ведущую роль в составе полициклических нафтеносодержащих битумоидов играют пентациклические тритерпаны (77—88 %); относительное содержание трициклических тритерпанов (хейлтанов) существенно ниже (10—16 %), содержание стеранов чрезвычайно низкое (2—8 %).

Стерановое распределение бурских битумоидов характеризуется преобладанием регулярных структур над перегруппированными и $\alpha\beta\beta$ -изостеранов над $\alpha\alpha\alpha$ -стеранами. Зарегистрировано слабое преобладание C_{29} гомологов в составе 20R эписомов $\alpha\alpha\alpha$ -стеранов и их резкое преобладание в составе $\alpha\beta\beta$ -изостеранов. Значения всех стерановых параметров термической зрелости битумоидов ниже равновесных величин, что свидетельствует о невысокой зрелости рассматриваемых образцов.

Распределение тритерпанов в рифейских битумоидах скв. Бурская 341-0 очень специфично. Помимо резкого преобладания гопанов над трицикланами, в них крайне мало содержание C_{27} 18 α (H)-трисноргопана (Ts) относительно C_{27} 17 α (H)-трисноргопана (Tm) и, наоборот, значительно содержание C_{29} и C_{30} моретанов относительно C_{29} и C_{30} гопанов. Еще одной особенностью распределения гопанов в битумоидах арымасской свиты является практически равное содержание в них C_{29} норгопана и C_{30} гопана. Наблюдаемое распределение тритерпанов считается незрелым.

Низкая зрелость битумоидов, отмечаемая по стерановым и гопановым индексам зрелости, согласуется с невысокими значениями отражательной способности витринита, рассчитанными по составу фенантроновых углеводородов ($R_o = 0.4—0.5$ %).

Битумоиды пород *малгинской свиты из обнажений на р. Мая* по сравнению с рифейскими битумоидами скв. Бурская существенно обогащены легким изотопом углерода (^{12}C); значения $\delta^{13}C$ варьируют в интервале $-31.8...-32.8$ ‰.

В рифейских битумоидах из обнажений на р. Мая, как и в битумоидах арымасской свиты скв. Бурская 341-0, наблюдается одномодальное распределение *n*-алканов с максимумом на *n*- C_{15} —*n*- C_{19} и постепенное плавное снижение концентраций гомологов по мере увеличения их молекулярного веса (см. рис. 2). Все изученные образцы характеризуются низким содержанием ациклических изопреноидов и отсутствием 12-, 13-монометилалканов. Значения показателей пристан/*n*- C_{17} , фитан/*n*- C_{18} , (пристан + фитан)/(*n*- C_{17} + *n*- C_{18}) (K_i) немного ниже, чем для рифейских битумоидов Бурской площади. Величина отношения Pr/Ph меняется от 1 до 2.

В рифейских битумоидах пород *малгинской свиты*, как и арымасской, в составе полициклических нафтеносодержащих битумоидов преобладают пентациклические тритерпаны, относительное содержание стеранов в большинстве изученных образцов не превышает 10 %. Относительное содержание трициклических тритерпанов в битумоидах *малгинской свиты* заметно выше, чем арымасской.

Ввиду низких концентраций стеранов в образцах из обнажений на р. Мая нельзя охарактеризовать их распределение и рассчитать стерановые параметры термической зрелости. Однако гопановые показатели зрелости, в частности, более высокие значения отношений Ts/Tm и близкие к равновесным величины отношения $\Sigma(C_{29} + C_{30})$ моретаны/ $\Sigma(C_{29} + C_{30})$ гопаны, а также рассчитанные по составу фенантроновых углеводородов значения R_o (~ 0.60 %) свидетельствуют о том, что битумоиды *малгинской свиты* более зрелые, чем арымасской.

Одной из особенностей распределения тритерпанов в битумоидах *малгинской свиты*, отличающей их от арымасских (кроме уже перечисленных выше, которые могут быть связаны с разной зрелостью пород), является присутствие в них в относительно высоких, сильно варьирующих концентрациях «специфического» биомаркера — 17 α (H)-диагопана, считающегося маркером субокислительных обстановок накопления нефтематеринских отложений. В битумоидах арымасской свиты этот углеводород отсутствует.

В большинстве изученных образцов *битумоидов бюксской и сералахской свит венда* относительное содержание ациклических изопреноидов и 12-, 13-монометилалканов существенно выше, чем в рифейских, что фиксируется повышенными значениями соответствующих показателей (пристан/*n*- C_{17} , фитан/*n*- C_{18} , (пристан + фитан)/(*n*- C_{17} + *n*- C_{18}) (K_i), $\Sigma(\text{изо-}C_{16}—\text{изо-}C_{21})/\Sigma(\text{н-}C_{15}—\text{н-}C_{19})$, $\Sigma(\text{метилалкан-}C_{19}—\text{метилалкан-}C_{30})/\Sigma(\text{н-}C_{18}—\text{н-}C_{29})$). Вендские битумоиды отличаются от рифейских и по профилю распределения *n*-алканов, в них отмечается преобладание нечетных гомологов в диапазоне *n*- C_{15} —*n*- C_{19} . Это преобладание фиксируется визуально на хроматограммах (см. рис. 2) и по повышенным значениям индексов нечетности (> 1) CPI при *n*- C_{17} —*n*- C_{19} и *n*- C_{17} —*n*- C_{21} и ОЕР при *n*- C_{17} и *n*- C_{19} . Значения отношения Pr/Ph варьируют в интервале от 0.8 до 1.6.

В составе полициклических нафтеносодержащих битумоидов всех исследованных вендских битумоидов, как и рифейских, преобладают тритерпаны, среди которых доминируют пентациклические углеводороды. Однако по сравнению с рифейскими образцами относительное содержание стеранов в составе полициклических нафтеносодержащих битумоидов венда заметно больше, что иллюстрирует рис. 3. На этом же рисунке видно, что по относительному содержанию стеранов миграционные битумоиды из отложений венда (скв. Кугаская 3640) практически не отличаются от автохтонных битумоидов венда (скважины Дюданская 291-0, Эргеджейская 2360 и Верхнечерендейская 2170).

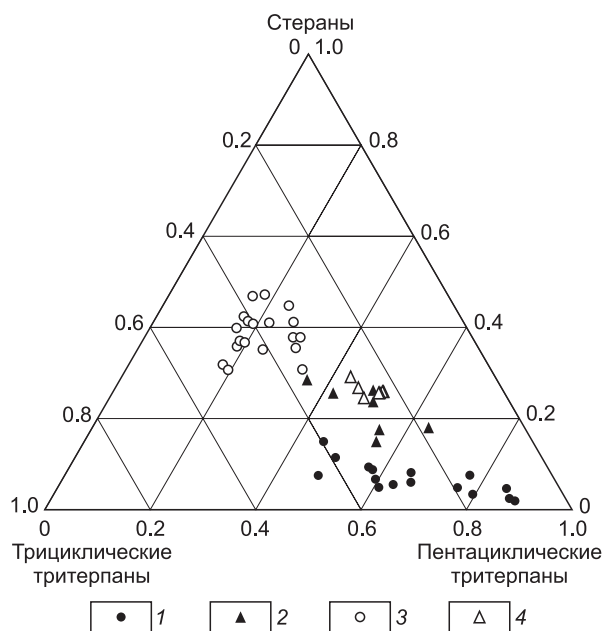


Рис. 3. Треугольная диаграмма, показывающая относительную обогатненность битумоидов разновозрастных материнских пород стеранами, трициклическими и пентациклическими тритерпанами.

1—3 — битумоиды разновозрастных нефтематеринских пород: 1 — рифейских, 2 — вендских, 3 — нижнесреднекембрийских; 4 — миграционные битумоиды венда.

Несмотря на четко выраженные различия рифейских и вендских битумоидов по относительно содержанию стеранов, молекулярные распределения этих углеводородов в битумоидах венда и арымасской свиты (скв. Бурская 341-0) похожи. Те и другие характеризуются преобладанием регулярных структур над перегруппированными, $\alpha\beta$ -изо-стеранов над $\alpha\alpha\alpha$ -стеранами, доминированием C_{29} гомологов в составе $\alpha\beta$ -изо-стеранов.

Распределение тритерпанов в вендских образцах больше похоже на их распределение в зрелых битумоидах малгинской свиты, чем в незрелых арымасской, при этом значения отдельных параметров сильно варьируют как в вендских образцах, так и в рифейских. Во всех изученных образцах венда, как и образцах малгинской свиты из обнажений на р. Мая, присутствует в относительно высоких концентрациях $17\alpha(H)$ -диагопан.

По изотопному составу углерода битумоиды нижнесреднекембрийских отложений (куонамской и ишканской свит) из обнажений на реках Молодо, Юдома и Мая не отличаются от битумоидов малгинской свиты рифея и слегка обогатнены ^{13}C по сравнению с вендскими. Значения $\delta^{13}C$ варьируют в интервале $-32.8...-29.7$ ‰.

Битумоиды кембрийских отложений из обнажений на реках Молодо, Юдома и Мая отличаются от вендских образцов по профилю распределения *n*-алканов. Ни в одном из исследованных битумоидов не отмечается преобладания нечетных гомологов в относительно низкомолекулярной области. Относительное содержание ациклических изопреноидов варьирует примерно в тех же пределах, что и для образцов из пород венда, но присутствия 12-, 13-монометилалканов в аналитических количествах не установлено, что отмечалось ранее [Каширцев, 2004].

В образцах битумоидов из нижнесреднекембрийских отложений по сравнению с образцами не только рифея, но и венда резко возрастает содержание стеранов и трициклических терпанов. Характер изменения состава полициклических нафтенов битумоидов с возрастом нефтематеринских отложений иллюстрирует рис. 3. На рисунке видно, что от рифейских к нижнесреднекембрийским битумоидам относительное содержание стеранов в составе полициклов растет. Наиболее высоким относительным содержанием трициклов характеризуются битумоиды нижнесреднекембрийских пород. В рифейских и вендских образцах относительное содержание трициклов примерно одинаково.

Резкие отличия нижнесреднекембрийских битумоидов от вендских и рифейских образцов наблюдаются не только в составе полициклических нафтенов, но и в распределении стерановых и тритерпановых УВ. В составе стеранов большинства нижнесреднекембрийских образцов, в отличие от вендских и рифейских битумоидов, преобладают не регулярные структуры, а перегруппированные. В большинстве образцов зарегистрированы высокие относительные концентрации короткоцепочечных стеранов. В распределении 20R эпимеров $\alpha\alpha\alpha$ -стеранов нижнесреднекембрийских битумоидов доминируют уже не C_{29} , а C_{27} гомологи. Стерановые параметры термической зрелости варьируют вблизи равновесных значений.

Распределение гопанов в нижнекембрийских битумоидах характеризуется преобладанием C_{30} гопана над C_{29} норгопаном, высокими относительными концентрациями $C_{27}18\alpha(H)$ -трисноргопана (Ts), $C_{27}18\alpha(H)$ -норнеогопана и $C_{30}17\alpha(H)$ -диагопана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом выполненные исследования показали, что битумоиды рифейских, вендских и нижнесреднекембрийских нефтематеринских отложений различаются между собой по ряду биомаркерных показателей, отражающих главным образом тип исходного биогенного материала.

Рифейские и вендские битумоиды четко различаются, прежде всего, по профилю распределения *n*-алканов. Рифейские образцы характеризуются плавной кривой распределения *n*-алканов с максимумом в области *n*-C₁₇—*n*-C₁₉. Кривая распределения *n*-алканов вендских битумоидов в этой области имеет пилообразную форму, фиксирующую преобладание нечетных гомологов *n*-C₁₅, *n*-C₁₇, иногда *n*-C₁₉ (см. рис. 2).

Кроме того, рифейские битумоиды по сравнению с вендскими обеднены 12-, 13-монометилалканами и ациклическими изопреноидами, хотя диапазоны вариаций параметров, отражающих соотношение *n*-алканов и ациклических изопреноидов, частично перекрываются. Последнее может быть связано с влиянием обстановок диагенеза в зонах накопления изученных отложений, маскирующего первичные генетические различия исходной биоты.

Нижнесреднекембрийские битумоиды по характеру распределения алифатических алканов отличны и от рифейских, и от вендских.

Главной особенностью состава полицикланов рифейских битумоидов, отличающей их от битумоидов венда и, в еще большей мере, от образцов нижнего—среднего кембрия, является крайне низкое содержание стеранов относительно тритерпанов. Направленный рост содержания стеранов от рифея к кембрию может быть следствием изменений биохимии липидов, связанных с эволюцией биосферы (см. рис. 3). Относительная обедненность рифейских битумоидов стеранами может объясняться отсутствием стеролов в липидах планктонных цианей, которые являлись доминантой рифейской альгофлоры [Шиманский, 2004].

Наконец, рифейские и по единичным определениям вендские битумоиды различаются по изотопному составу углерода. Первые слегка, если не принимать во внимание битумоиды скв. Бурская 341-0, обогащены ¹³C по сравнению со вторыми. Причины заметного обогащения бурских битумоидов тяжелым изотопом углерода требуют специального изучения. Здесь же следует заметить, что изотопный и химический составы органического вещества зависят от разных факторов. Изотопный состав ОВ может быть разным при одном и том же видовом составе исходной биоты. Он в значительной степени зависит от условий фотосинтеза в конкретных экосистемах.

Выявленные различия состава и распределения биомаркеров в битумоидах разновозрастных нефтематеринских толщ могут быть использованы для идентификации генерационных источников углеводородов открытых залежей.

ЛИТЕРАТУРА

- Вассоевич Н.Б.** Происхождение нефти // Вестн. МГУ. Сер. 5. Геология, 1975, № 5, с. 3—23.
- Данилова В.П., Конторович А.Э., Конторович А.А., Тимошина И.Д., Шеходанова Ю.В., Филипов Ю.А.** Геохимия нефтепроизводящих отложений рифея юго-запада Сибирской платформы // Геохимия в практике поисково-разведочных работ на нефть и газ. Тезисы докладов научной конференции. М., ВНИГНИ, 2001, с. 42—45.
- Каширцев В.А.** Генетические семейства верхнедокембрийских и кембрийских нефтей (нафтидов) на востоке Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (7), с. 895—900.
- Конторович А.Э., Меленевский В.Н., Тимошина И.Д., Махнева Е.А.** Семейства верхнедокембрийских и кембрийских нефтей Сибирской платформы // ДАН, 2000, т. 370, № 1, с. 92—95.
- Неручев С.Г., Баженова Т.К., Смирнов С.В., Андреева О.А., Климова Л.И.** Оценка потенциальных ресурсов углеводородов на основе моделирования процессов их генерации, миграции и аккумуляции. СПб., Недра, 2006, 364 с.
- Семихатов М.А., Серебряков С.Н.** Сибирский гипостратотип рифея. М., Наука, 1983, 222 с.
- Тимошина И.Д.** Геохимия органического вещества нефтепроизводящих пород и нефтей верхнего докембрия юга Восточной Сибири // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (7), с. 901—910.
- Тимошина И.Д.** Геохимия органического вещества нефтепроизводящих пород и нефтей верхнего докембрия юга Восточной Сибири. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005, 166 с.
- Шиманский В.К., Баженова Т.К., Васильева В.Ф., Гребень А.Е., Неручев С.Г., Шапиро А.И., Климова Л.И., Кунаева Н.Т.** Вопросы эволюции исходного органического вещества нефтегазоматеринских формаций и его производных в истории Земли // Новые идеи, теоретические обобщения и методические решения в нефтяной геологии. СПб., Недра, 2004, с. 59—75.

Поступила в редакцию
14 ноября 2013 г.